



**SAVONIA**

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

## RADIOGRAFISEN TARKASTUKSEN KORVAAMINEN VAIHEISTETULLA ULTRAÄÄNITARKASTUKSELLA

TEKIJÄ/T: Nestori Hämäläinen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Energiatekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Nestori Hämäläinen	
Työn nimi Radiografisentarkastuksen korvaaminen vaiheistetulla ultraäänitarkastuksella	
Päiväys 9.1.2017	Sivumäärä/Liitteet 25/0
Ohjaaja(t) Heikki Salkinoja, Ritva Käyhkö	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Nordic Power Service Inspection Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämä opinnäytetyö käsittelee kahta volymetristä NDT-menetelmää, radiograafista- ja ultraäänitarkastusta. Työ tehtiin yhteistyössä Nordic Power Service Inspection Oy:n kanssa. Tavoitteena oli, tutkia voidaanko vaiheistetulla ultraääni laitteistolla tarkastaa ohuita, alle 8mm, päittäisliitoksia. Ohuet päittäisliitokset tarkastetaan aina röntgen kuvaamalla. Menetelmää pidetään yleisesti ultraääntä luotetavampana. Ultraäänitarkastuksen etuja ovat että, se on vähemmän aikaa vievää eikä siitä ei aiheudu vaaraa ympärillä olevilla henkilöillä. Työ toteutettiin vertailemalla koekappeleista saatuja tuloksia. Koekappaleita oli yhteensä kolme ja ne tarkastettiin röntgenkuvaamalla sekä vaiheistetulla ultraäänilaitteistolla.</p>	
Avainsanat NDT, ultraääni, radiografia	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Energy Technology			
Author(s) Nestori Hämäläinen			
Title of Thesis Replacing the radiographic inspection with phased array ultrasonic			
Date	9.1.2017	Pages/Appendices	24/0
Supervisor(s) Heikki Salkinoja, Ritva Käyhkö			
Client Organisation /Partners Nordic Power Service Inspection Oy			
<p>Abstract</p> <p>This thesis is about two volumetric NDT-methods, radiographic testing and ultrasonic testing. It was done in co-operation with Nordic Power Service Inspection Oy.</p> <p>Target of this thesis was to explore the opportunities of phased array ultrasonic testing when inspecting thin, under 8mm, butt welds. Thin butt welds are always inspected by x-ray. Radiographic method is considered more reliable than ultrasonic. Benefits that come with ultrasonic method are that it is more faster and it does not pose a danger to people around. This work was done by comparing the test pieces, which there was three. Test pieces were inspected with x-ray and phased array ultrasonic.</p>			
Keywords NDT, ultrasonic, radiography			

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	5
2	RIKKOMATON AINEENKOETUS .....	6
2.1	Volumetrinen tarkastus .....	6
2.2	Radiografinen tarkastus .....	6
2.3	Ultraäänitarkastus .....	8
2.3.1	Ultraääni .....	9
2.3.2	Ultraäänilaitteisto .....	9
2.3.3	Normaaliluotain .....	10
2.3.4	Kulmaluotain .....	11
2.4	Ultraäänen esitystavat .....	12
2.4.1	A-Skannaus .....	12
2.4.2	S-skannaus .....	13
3	VAIHEISTETTU ULTRAÄÄNITARKASTUS .....	15
3.1	Vaiheistetun ultraääni luotauksen periaate .....	15
3.2	Laitteisto .....	16
3.3	Vaiheistetut luotaimet .....	16
4	ALLE 8 MM PÄITTÄISLIITOSTEN TARKASTAMINEN .....	18
4.1	Koekappaleet .....	18
4.2	Koekappaleiden röntgentarkastus .....	18
4.3	Koekappaleiden vaiheistettu ultraäänitarkastus .....	19
5	TULOKSET .....	22
5.1	Tuloksien vertailu .....	23
6	YHTEENVETO .....	24
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT .....	25

## 1 JOHDANTO

Tämä työ käsittelee volumetrisiä NDT-menetelmiä, ultraääni- ja röntgentarkastusta. Työ tehtiin yhteistyössä Nordic Power Service Inspection Oy:n kanssa. Kirjoittaja toimii NDT-tarkastajana yrityksessä ja esiin nousi puutteita liittyen vaiheistetun ultraäänitekniikan käyttöön.

Työ rajoittuu tutkimaan ainevahvuudeltaan alle 8 mm päitäisliitoksia. Työn keskeisenä tavoitteena oli tutkia, voidaanko röntgenkuvauksia korvata luotettavasti käyttämällä vaiheistettua ultraäänitekniikkaa. Jos tarkastukset on mahdollista toteuttaa ultraäänellä, voidaan sitä käyttää hyödyksi esimerkiksi epävirallisten, ns. kontrollitarkastusten tekemiseen ennen lämpökäsittelyjä.

Röntgenkuvauksessa syntyy ionisoivaa säteilyä, joka on ihmiselle haitallista. Usein tästä syystä työmaa joudutaan vähintään rajaamaan kuvauksien ajaksi. Tämä hidastaa projektin etenemistä, sekä voi aiheuttaa turhia vaaratilanteita. Ultraäänitarkastuksissa vastaavia ongelmia ei esiinny.

Ongelmana on ultraäänitarkastuksen toistettavuus ja tulosten luotettavuus ohuilla ainevahvuuksilla. Standardi rajaa perinteisen ultraäänien käytön yli 8mm ainevahvuuksiin. Maailmalta löytyy kuitenkin esimerkkejä vaiheistetun ultraäänitekniikan käytöstä ohuissa aineissa.

Työssä käydään läpi röntgen- ja ultraäänitarkastuksen perusteita. Selvitetään vaiheistetun ultraäänitekniikan hyötyjä ja haittoja. Verrataan kolmen hitsatun koekappaleen röntgentarkastusten tuloksia vaiheistetulla ultraäänellä saatuihin.

Nordic Power Service Oy on tarkastuspalveluja tuottava yritys. Sen palveluihin kuuluu NDT-tarkastukset, asennus- ja toimitusvalvonta. Yritys kuuluu Nordic Power Service konserniin. Yritys on perustettu vuonna 2013 ja se työllistää yhteensä 13 tarkastajaa Varkaudessa ja Naantalissa.

## 2 RIKKOMATON AINEENKOETUS

Rikkomattolla aineenkoetuksella eli NDT:llä (Nondestructive testing) on suuri merkitys erilaisten materiaalien, tuotteiden ja laitteiden laadunvarmistuksessa. Tarkastuksilla pyritään varmistamaan, että tarkastettava kohde täyttää sille asetetut vaatimukset. Jos tuotteen virheellinen toiminta voi aiheuttaa yhteiskunnallisen turvallisuusriskin, on tarkastaminen ehdottomasti välttämätöntä. Esimerkkinä ydinvoimalat ja lentokoneiteollisuus. NDT-tekniikoita käytetään hyväksi niin valmistuksessa; kuin valmiin laitteen kunnossapidossa. Tarkastuksen tavoitteena on etsiä materiaalissa olevia poikkeamia. Näitä ovat esimerkiksi hitsien viat, kuten huokokset, säröt, liitosvirheet ja halkeamat.

Eniten käytettyjä tarkastusmenetelmiä ovat: visuaalinen tarkastus, tunkeumanestetarkastus, magneettijauhetarkastus, radiografinen tarkastus, ultraäänitarkastus, pyörrevirtatarkastus sekä vuotokoe. Lisäksi on olemassa muita vähemmän käytettyjä menetelmiä, jotka tulevat kyseeseen erilaisissa erikoissovelluksissa. Näitä ovat: akustinen emissio, Barkhausenin menetelmä, termografia, jännite-eromittaus, tomografia ja holografia. Tarkastusmenetelmät voidaan jakaa pintamenetelmiin ja volumetrisiin menetelmiin. Nimensä mukaan pintamenetelmillä pystytään havaitsemaan materiaalin pinnassa sijaitsevat viat, volumetrisillä menetelmillä voidaan tutkia materiaalin sisäisiä vikoja. (Martikainen J. 2009. s.160)

### 2.1 Volumetrinen tarkastus

Volumetriseillä tarkastuksella tarkoitetaan rakenteiden ja tuotteiden sisäisten vikojen tarkastusta. Se sai alkunsa 1900-luvun alussa radiografian myötä. NDT-tekniikassa kaksi eniten käytettyä volumetriseä tarkastusmenetelmää ovat radiografinen- ja ultraäänitarkastus. Kummallakin tekniikalla on omat hyvät ja huonot puolensa. Niitä voidaan käyttää itsenäisenä tai toisiaan täydentävinä tarkastusmenetelminä. Näin toimitaan kun tarkastettavilta kohteilta vaaditaan suurta käyttövarmuutta, esimerkiksi lentokoneiteollisuus ja ydinvoimalat. (Berke M. 2000.)

### 2.2 Radiografinen tarkastus

Radiografisella tarkastuksessa tarkastettavaan kohteeseen lähetetään ionisoivaa säteilyä. Säteilyn läpäisyn voimakkuutta tutkitaan kohteen takana sijaitsevasta filmistä. Filmi voidaan korvata myös digitaalisella paneelilla. Radiografisella tarkastuksella voidaan tarkoittaa röntgen-, isotooppi- tai kiihdytinkuvausta. Röntgenkuvauksessa säteilylähteenä käytetään röntgenputkea, isotooppikuvauksissa käytetään hyväksi radioaktiivisen isotoopin lähettämää

gammasäteilyä, kiihdytinkuvauksissa säteilylähteenä käytetään esimerkiksi mikrotonia, betatronia, lineaarikiihdytintä tai van de Graaff- generaattoria.

Peruseriaaltaan teollisuudessa käytetty radiografia ei eroa lääketieteessä käytetystä. Se perustuu ionisoivan-säteilyn ja aineen vuorovaikutukseen. Kuvatessa säteily läpäisee materiaalin ja tapahtumasta piirtyy kuva filmille. Jos materiaalissa on poikkeavuuksia näkyvät nämä filmissä tummempina tai vaaleampina kohtina. Esimerkiksi halkeamat ja huokokset, joista materiaalia niin sanotusti puuttuu, päästävät enemmän säteilyä läpi ja piirtyvät filmille tummempina kohtina. Vastaavasti esimerkiksi volframi, joka on ominaisuuksiltaan tiheää, ei päästä säteilyä läpi ja filmille piirtyvä kohta on vaalea.

Radiografisella tarkastuksella pystytään havaitsemaan kaikki kolmiulotteiset virheet, kuten esimerkiksi kuona ja huokokset. Virheen tulee kuitenkin olla kooltaan säteilyn suunnassa 1...2 % ainepaksuudesta. Mikäli säteilyn suunta on epäedullinen, lineaaristen virheiden, kuten halkeamien, havaitseminen on epävarmaa. Radiografian erotuskykyyn eli kuvanlaatuun vaikuttavat kuvattava aine, filmi, kuvaustekniikka, säteilyn laatu ja laitteisto. Pienimpien havaittavien virheiden koko on noin 2...3 % ainepaksuuksilla 10...50 mm.

Radiografisentarkastuksen suurin haitta on ionisoivansäteilyn vaarallisuus ihmiselle. Säteilyä ei voi havaita silmällä. Työmaaolosuhteissa suoritettava kuvaus vaatii aina alueen sulke- mista ulkopuolisilta henkilöiltä. Suomessa on voimassa säteilysuojalaki joka asettaa säteilyn annosrajat säteilytyöntekijöille sekä ulkopuolisille ihmisille. Röntgenkuvauksella voidaan tarkastaa terästä noin 50 mm asti. Isotooppia käyttäen on mahdollista kuvata 225 mm paksua terästä. Kiihdyttimien läpäisy kyky teräkselle on 600 mm.

Työmaaolosuhteissa kohteen luoksepäästävyys rajoittaa tarkastuksien suorittamista. Kuvaus vaatii useasti pääsyä kohteen molemmille puolille. Tavallinen röntgenputki, joka toimii säteilylähteenä, painaa noin 20-30 kg ja pituutta sillä on noin metri, joten putkella on mahdotonta kuvata todella ahtaissa paikoissa.

Radiografisentarkastuksen suurimpana hyötynä on säilyvä dokumentti tarkastuskohteesta, röntgen filmi tai digitaalinen kuva. Tarkastuksen luotettavuus on riippumaton tarkastettavasta aineesta. Poikkeuksena ovat aineet, joissa säteilyn absorbio ja sironta ovat voimakkaita. Tällaisten materiaalien tarkastaminen on vaikeampaa. Teräksien lisäksi voidaan tarkastaa esimerkiksi titaania, kuparia ja alumiinia. (Martikainen J. 2009. s. 174-175)

## 2.3 Ultraäänitarkastus

Ultraäänitarkastus sai alkunsa 1940-luvulla, kun ensimmäiset kaupalliset ultraäänilaitteet tulivat markkinoilla. Siitä lähtien ultraääntä on hyödynnetty rikkomattomassa aineenkoetuksessa. (Berke M. 2000.)

Ultraäänitarkastuksella voidaan tutkia kappaleen mittoja, esimerkiksi paksuusmittaus, etsiä materiaalissa sijaitsevia epäjatkuvuuksia ja sitä voidaan käyttää hyväksi määrittäessä eräitä aineominaisuuksia kuten kimmovakiota. (Martikainen J. 2009. s.176)

Ultraäänitekniikka perustuu äänen läpäisyyn ja heijastumiseen. Tekniikka hyödyntäen voidaan tutkia läpäiseen äänen signaalia (läpäisytekniikka) tai tutkia pinnasta tai epäjatkuvuudesta heijastuneita signaaleita (pulssikaikutekniikka). Ultraäänitekniikassa käytetään erilaisia aaltomuotoja, näitä ovat pitkittäis-, poikittais-, pinta- sekä levyaallot. Normaalisessa tarkastuksessa käytetään pitkittäis- ja poikittaistaaltoa. Pinta- ja levyaallot tulevat kysymykseen erityistarkoituksissa. Aaltomuoto ja sen heijastussuunta määräytyy tarkastuksen tarkoituksen mukaan. Äänen suunnan tulisi olla mahdollisimman kohti suorassa oletettavaan heijastajaan nähden, käytettäessä pulssikaikumenetelmää yhdellä luotaimella. (SFS-EN ISO 16810 Rikkomaton aineenkoetus. Ultraäänitarkastus. Yleisperiaatteet)

Ultraäänitarkastuksen hyviä puolia ovat mm. hyvä halkeamatyyppisten vikojen havainnointi, virheen sijainnin tarkka määrittäminen ja hyvä tunkeutumiskyky. Tarkastuksesta ei myöskään aiheudu terveydellisiä vaaroja.

Erialaisten virheiden löytäminen ja paikantaminen onnistuu ultraäänellä hyvin. Virheen tunnistaminen ja sen koon määrittely on vaikeampaa. Tunnistamisessa käytetään hyväksi virheen suuntaa ja paikkatietoa. Esimerkiksi jos näyttämä paikallistuu hitsin railopintaan, on kyseessä todennäköisesti liitosvirhe. Virheen muoto, suunta ja heijastavuus antavat virheellä ulkonäön, jota käytetään myös hyväksi vikaa määritettäessä. Koon määrittämiseen on olemassa erilaisia tekniikoita. Jos kyseessä on suurikokoinen virhe, niin tarkastellaan virheen reunoja. Pienten virheiden kohdalla voidaan vertailla vertailuvirheistä saatuja näyttämiä.

Yksi ultraääntä rajoittava tekijä on äänen vaimeneminen. Se rajoittaa kappaleen paksuutta ja havaittavan virheen kokoa. Ultraäänen vaimeneminen johtuu absorbiosta ja sironnasta. Absorbiassa värähtely muuttuu lämmöksi, johtuen materiaalin sisäisestä kitkasta. Sironta taas on seurausta äänen heijastumisesta ja taittumisesta raerajoista ja mikrohalkeamista.



Vaimeneminen on otettava huomioon laitetta kalibroitaessa. Kalibrointi tulee suorittaa vertailukappaleeseen, jonka materiaali on mahdollisimman samanlainen kuin tarkastettavan kohteen.

Tarkastusta rajoittaa myös tarkastettavan kappaleen pinnanlaatu, koko, paksuus sekä geometriä. Karkea pintaisia kappaleita ei voi luodata, koska luotaimen ja tarkastettavan pinnan välinen kontakti on huono. Geometria vaikuttaa niin äänen heijastumiseen kappaleen reunoista, kuin luotaimen liikuteltavuuteen.

Luotettavuutta voidaan pitää myös ultraäänitarkastuksen huonona puolena. Tarkastus vaatii suurta ammattitaitoa ja on aina riippuvainen tarkastajan tulkinnoista. Ultraäänitarkastus ei ole niin hyvin toistettavissa kuin radiografinen tarkastus. Näistä syistä radiografiaa pidetään yleisesti luotettavampana menetelmänä. (Martikainen J. 2009. s. 177-178)

### 2.3.1 Ultraääni

Ultraäänellä tarkoitetaan ääntä, jonka taajuus on ihmisen kuuloalueen ulkopuolella. Ihmiskorva pystyy erottamaan ääniä joiden taajuus on 20-20000Hz. Tämän taajuuden ylittäviä ääniä kutsutaan ultraääniksi. Ultraäänitekniikassa käytetyn äänen taajuus on 0,5-25MHz. Metallien tarkastuksessa taajuudet ovat yleisesti alueella 2-5MHz. Suuremalla taajudella voidaan havaita pienempiä virheitä, mutta ultraäänen tunkeutumiskyky pienenee. (Martikainen J. 2009. s.177)

Äänen etenemisnopeus väliaineessa on riippuvainen materiaaliakohtaisista ominaisuuksista, kuten tiheys, kimmo- tai liukumoduli ja Poissonin luku. Poissonin luvulla kuvataan materiaalin venymisen ja ohenemisen suhdetta.

Äänevoimakkuus ilmoitetaan ultraäänitekniikassa intensiteetillä ja äänenpaineella. Intensiteetti kuvaa äänen sisältämää energiaa pinta-alaa kohden, kun taas äänenpaine kuvaa äänen aiheuttamaa painetta, voimaa, pinta-alaa kohden. Teknisesti ultraääntä voidaan tuottaa esimerkiksi sähkö- ja magnetostriktion avulla. (Berke M. 2000.)

### 2.3.2 Ultraäänilaitteisto

Ultraäänilaitteistoon kuuluu ultraäänilaitte, luotaimet, kaapelit laitteen ja luotaimen välillä sekä kytkentäaine. Luotaimilla voidaan lähettää ääntä pintaan nähden kohtisuorassa (normaaliluotaimet) tai eri kulmissa (kulmaluotaimet). Luotaimet lähettävät ja vastaanottavat

ääntä. KytKentäaineena voidaan käyttää vettä, erillaisia geelejä tai liisteriä. KytKentäaine on välttämätön, jotta ääni saadaan siirtymään luotaimesta tarkastettavaan materiaaliin.

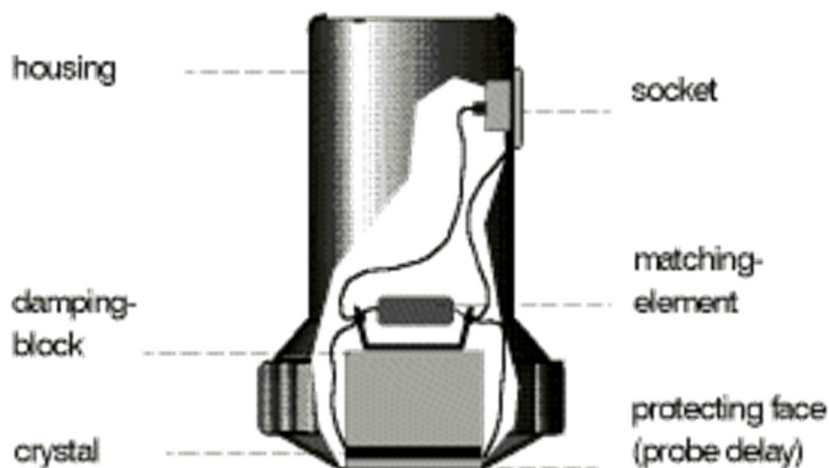
(Berke M. 2000.)

Ultraäänilaitteen tulee täyttää standardin EN 12668-1 vaatimukset. Luotainten vaatimukset on esitetty standardissa EN 12668-2. KytKentäaineen tulee olla materiaalille soveltuvaa, eikä se saa menettää ominaisuuksiaan kesken tarkastuksen. (SFS-EN ISO 16810 Rikkomaton aineenkoetus. Ultraäänitarkastus. Yleisperiaatteet)

### 2.3.3 Normaaliluotain

Normaali- eli nollaluotain lähettää ääntä pintaan nähden kohtisuorassa. Normaaliluotaimia käytetään yleensä paksuusmittaukseen, sekä valujen, takeiden ja perusaineen laminaarisuuden tarkastamiseen.

Kuvassa 1. on poikkileikkaus normaaliluotaimen rakenteesta. Luotain koostuu sitä ympäröivästä kuoresta, kaapelin liittimestä, vaimennuspalasta, pietsosähköisestä kiteestä sekä muuntajasta, joka muuttaa sähköisen signaalin värähtelyksi sekä toisinpäin. Luotaimissa on myös suoja pietsosähköisen kiteen edessä, jotta kite ei vaurioidu.



KUVA 1. Normaaliluotaimen rakenne. (Berke M. 2000)

Kuvassa 2. on normaaliluotaimen perus toimintaperiaate. Luotain lähettää ääntä materiaaliin, josta se heijastuu joko materiaalin takaseinästä tai siinä olevasta viasta takaisin. Tulkitsemalla kaikuja oikein voidaan selvittää vian paikka ja sen laatu.

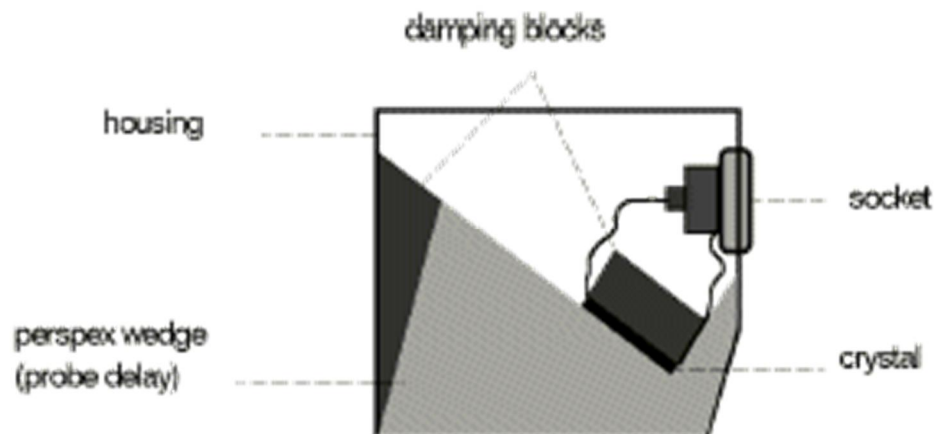


KUVA 2. Normaaliluotaimen toiminta (Berke M. 2000)

#### 2.3.4 Kulmaluotain

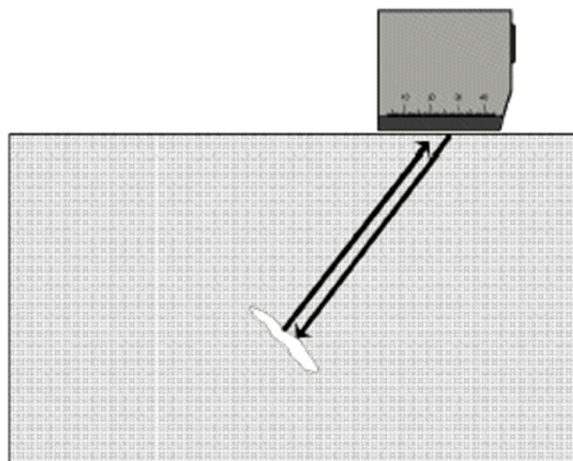
Kulmaluotaimia käytetään hitsien tarkastukseen. Ne lähettävät ääntä tietyssä kulmassa pintaan nähden. Kulma on luotainkohtainen, joten kulmaa voidaan muuttaa ainostaan luotainta vaihtamalla. Yleisesti käytettyjä kulmaluotaimia ovat 45, 50, 60 ja 70 asteen kulmassa ääntä lähettävät luotaimet. Ultraääni pyritään lähettämään sellaisessa kulmassa, että se kohtaisi viat kohtisuoraan, näin ollen ääni heijastuu parhaiten takaisin luotaimeen. Liitosvirheet esiintyvät yleensä hitsin railopinnassa, tästä syystä hitsin railokulmalla on vaikutusta luotaimen valintaan. Myös kappaleen paksuus asettaa ehtoja luotainkulmalle. Ainepaksuudesta riippuen tarkastus suoritetaan usealle eri kulmalla, jotta koko hitsin tilavuus saadaan katettua.

Kuvassa 3. on kulmaluotaimen rakenne. Osat ovat vastaavat kuin normaaliluotaimessa. Kulmaluotaimessa kide on sijoitettu viistosti, jotta ääni saadaan lähtemään kulmassa. Vaimennuspalat on sijoitettu siten, että ylimääräiset kaiut eivät häiritse luotaimen toimintaa.



KUVA 3. Kulmaluotaimen rakenne (Berke M. 2000)

Kuvassa 4. on kulmaluotaimen toimintaperiaate. Kulmaa valittaessa pyritään siihen, että ääni kohtaa oletetut viat mahdollisimman kohtisuoraan. Näin viasta saatava kaiku heijastuu suoraan takaisin luotaimeen.



KUVA 4. Kulmaluotaimen toiminta (Berke M. 2000)

## 2.4 Ultraäänen esitystavat

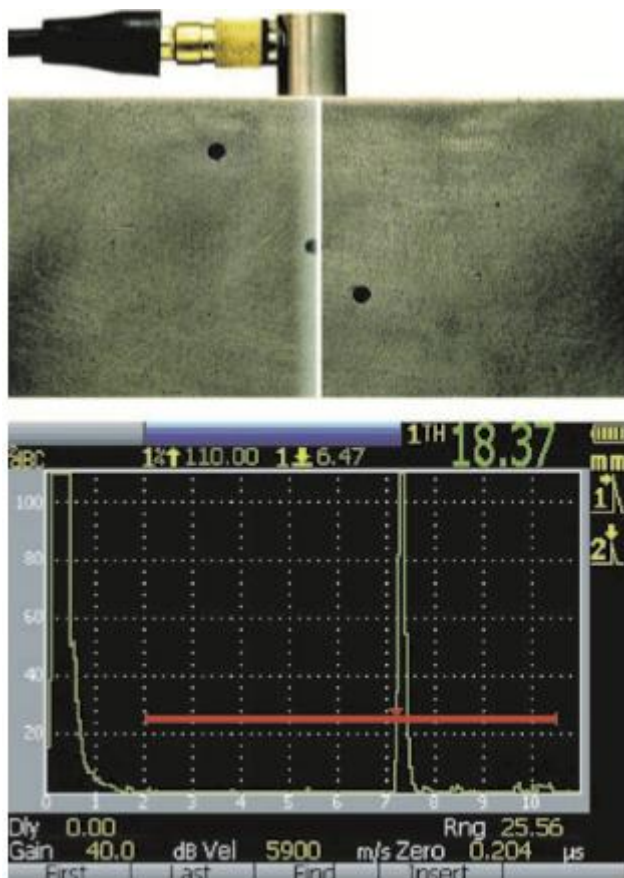
Kun luotain lähettää ja vastaanottaa ultraäänisignaaleja, ultraäänilaite näyttää tapahtuman näytöllä. Esitystapoja on kuusi erillaista: A-skannaus, yksittäisen arvon B-skannaus, poikkipinta B-skannaus, lineaarinen skannaus, C-skannaus sekä S-skannaus. Tässä työssä käytetään hyväksi A- ja S-skannausta, sekä niiden yhdistämistä.

### 2.4.1 A-Skannaus

A-skannausta käytetään normaalia tarkastusta tehdessä. Siinä kuvataan kaiun kahta ominaisuutta: amplitudia ja äänen kulkemiseen kulunutta aikaa. Amplitudilla tarkoitetaan kaiun voimakkuutta. Ajan avulla päästään käsiksi kaiun paikkaan. Kun tiedetään äänennopeus tarkastettavassa materiaalissa, etäisyys voidaan laskea yksinkertaisesta kaavasta:

$$\text{Matka} = \text{Nopeus} \times \text{Aika} \quad (1)$$

A-skannauksessa nämä asiat on esitetty siten, että x-akselilla on aika ja y-akselilla kaiun amplitudi. Alla olevassa kuvassa 5 oikealla oleva vihreä piikki on kaiku, joka tulee tarkastettavassa kappaleessa sijaitsevasta reiästä. Jos laitteisto on oikein kalibroitu, niin reikä sijaitsee 18,37mm syvyydessä. Punainen vaakapalkki näytössä on portti, joka mittaa kaiun ominaisuuksia. (Anderson, M. Nov, 2010 s.38)



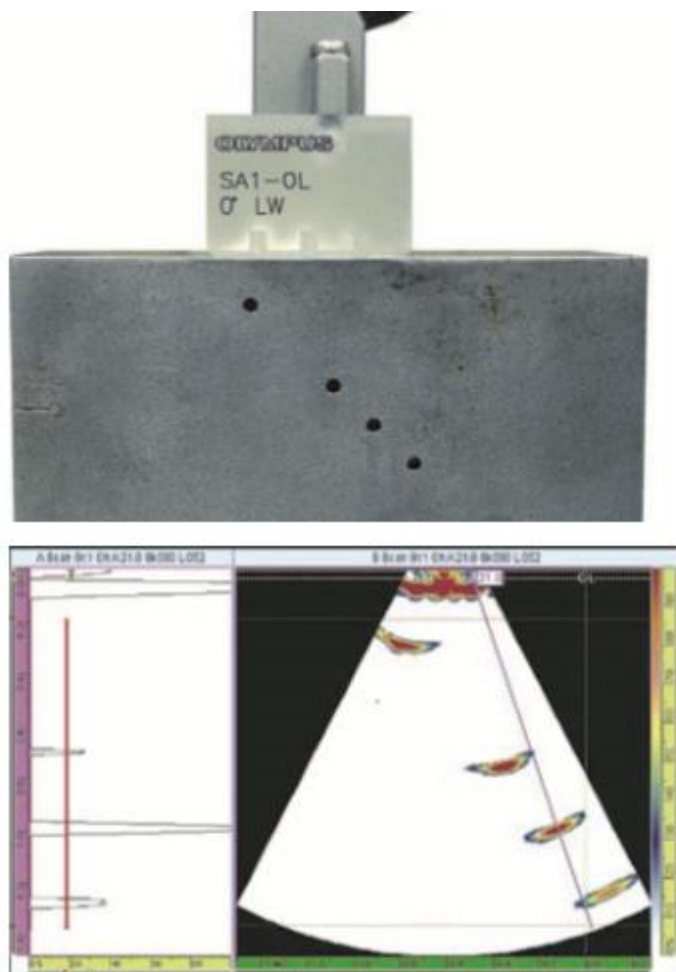
KUVA5. Ultraäänilaitteen näyttö A-skannauksessa (Anderson, M. 2010 s. 39)

#### 2.4.2 S-skannaus

S-skannaus on tuttu lääketieteestä. Sillä on mahdollista saada selkeämpi kuva vian koosta ja paikasta. S-skannaus edellyttää, että käytössä on vaiheistettu ultraäänilaitteisto.

Kuvassa 6. on esitetty S-skannauksen esitystapa. Kuvassa vasemmalla on nähtävissä A-skannaus näyttö. Äänikeilaa voidaan säätää  $-30^{\circ}$  ja  $+30^{\circ}$  välillä.

(Anderson, M. 2010 s. 46)



KUVA 6. S-skannausnäyttö (Anderson, M. 2010 s. 46)

### 3 VAIHEISTETTU ULTRAÄÄNITARKASTUS

Vaiheistettu ultraääni on monelle tuttu lääketieteestä, kuten kuvassa 7, tekniikan käyttö ei kuitenkaan rajoitu vain siihen. Ensimmäiset teollisuuteen tarkoitetut laitteet tulivat markkinoille 1980-luvulla. Ne olivat kooltaan suuria ja tarvisivat erillisen tietokoneyhteyden. Kannettavat, akkukäyttöiset laitteet teollisuuden käyttöön tulivat markkinoille 2000-luvun alussa. (Anderson, M. 2010. s. 6)

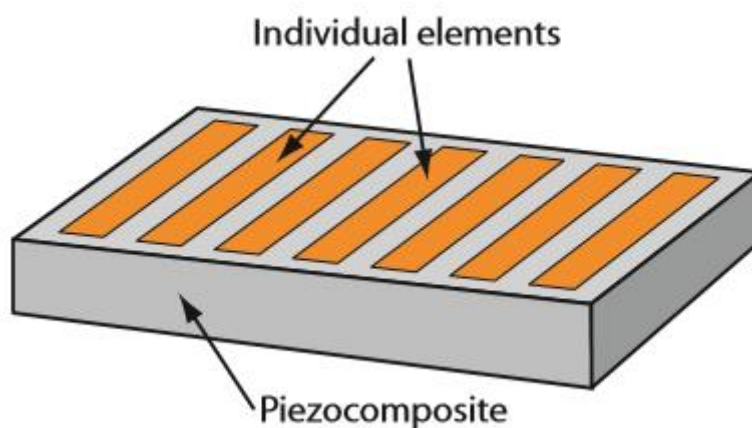


KUVA 7. Sikiön ultraäänikuva (Anderson M. 2010 s.6)

#### 3.1 Vaiheistetun ultraääni luotauksen periaate

Yksinkertaisimmillaan vaiheistettu ultraääni eroaa normaalista ultraäänestä siten, että luotain lähettää ääntä aineeseen useassa eri kulmassa yhtä aikaa. Normaalissa ultraäänitarkastuksessa kulma on luotainkohtainen ja jos kulmaa halutaan vaihtaa, täytyy tarkastajan vaihtaa luotainta. Vaiheistettua luotainta ei myöskään tarvitse liikutella kuin hitsin suuntaisesti. Normaalissa ultraäänitarkastuksessa luotainta liikutetaan kohtisuoraan hitsiin nähden edestakaisin, samalla liikkuen hitsinsuunnassa eteenpäin.

Kuvassa 8. nähdään että vaiheistetussa luotaimessa on useita värähteleviä elementtejä. Jos verrataan rakennetta perinteiseen luotaimen, on siinä vain yksi tai kaksi elementtiä. Vaiheistetussa luotaimessa näitä elementtejä voi olla 16-256 kappaletta. Elementit voivat värähdellä toisistaan riippumatta. Tämä mahdollistaa äänikeilan kulman ja muodon säätämisen.



KUVA 8. Monielementtinen rakenne (Anderson M. 2010)

### 3.2 Laitteisto

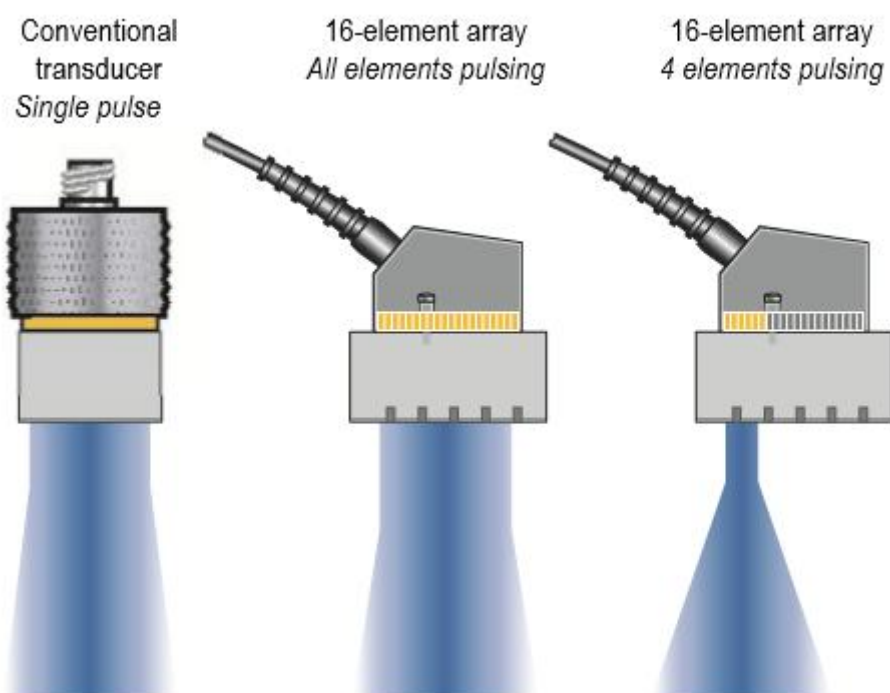
Laitteisto on samanlainen kuin normaalissa ultraäänitarkastuksessa. Osalla ultraäänikoneista on mahdollista suorittaa molempia tarkastuksia, vain luotain on vaihdettava ja valittava oikeat asetukset menetelmälle. Vaiheistettu laitteisto on monessa tapauksessa mahdollista liittää tietokoneeseen ja näin ollen tuloksia voidaan tulkita skannauksen jälkeen tietokoneelta. Tämä tekniikka on hyödyllistä varsinkin hankalissa olosuhteissa tapahtuvissa tarkastuksissa, joissa olosuhteet voivat vaikuttaa laitteen näytön tulkitsemiseen.

### 3.3 Vaiheistetut luotaimet

Luotaimien rakenne on erilainen verrattuna tavallisiin kulmaluotaimiin. Kuten edellä mainittiin, vaiheistetuissa luotaimissa värähteleviä elementtejä on useita ja näin ollen äänikeilaa voidaan säätää. Kuvassa 9. havainnollistettu äänikeilan säätöä. Vasemmalla perinteinen yksi elementtinen normaaliluotain ja sen äänikeila. Keskellä 16 elementtinen vaiheistettu luotain kun kaikki elementit värähtelevät. Oikealla sama vaiheistettuluotain, jossa 4 elementtiä värähtelee. Keilan säädöllä voidaan vaikuttaa luotaimen havaitsemisherkkyyteen. Luotain voidaan fokusoida esimerkiksi tiettyyn syvyyteen.

(Anderson, M. 2010 s. 29)





KUVA 9. Äänikeilan säätö (Anderson M. 2010 s.29)

## 4 ALLE 8 MM PÄITÄISLIITOSTEN TARKASTAMINEN

Alle 8 mm päittäisliitoksia tarkastetaan tavallisesti röntgenlaitteilla. Ultraäänitarkastukselle ei ole olemassa standardia näin ohuille aineille. Vaiheistettu ultraäänitarkastus eroaa kuitenkin perinteisestä ja sitä on jo käytetty esimerkiksi ohuiden kattilaputkien liitosten tarkastamiseen.

### 4.1 Koekappaleet

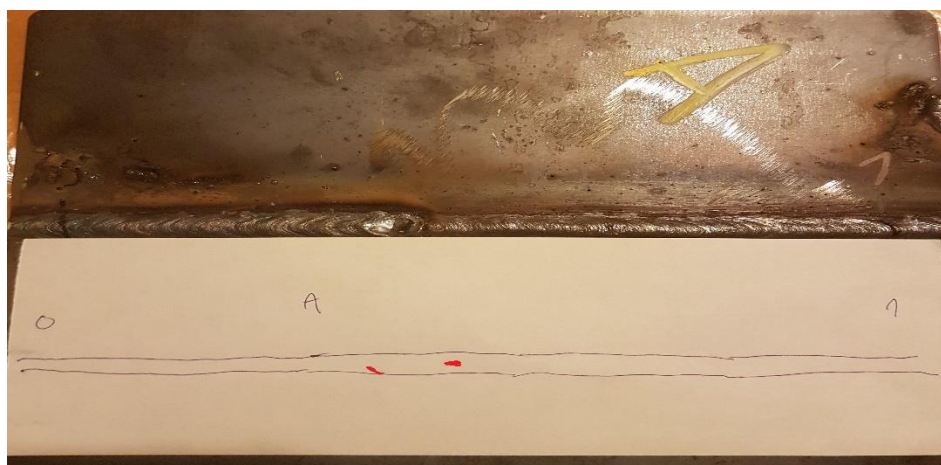
Koekappaleiksi valikoituu putkien sijasta levyjä. Putket olisivat vaatineet luotainkiilaan muotoilemisen putken muotoon, jotta luotaimen kontakti olisi riittävä. Levyt hitsattiin Savon ammatti- ja aikuisopistolla. Levyjä on yhteensä kolme kappaletta ja niiden ainevahvuus on 6 mm. Koekappaleet on hitsattu puikkohitsauksella. Railon muoto on V. Levyt on nimetty A, B ja C.

### 4.2 Koekappaleiden röntgentarkastus

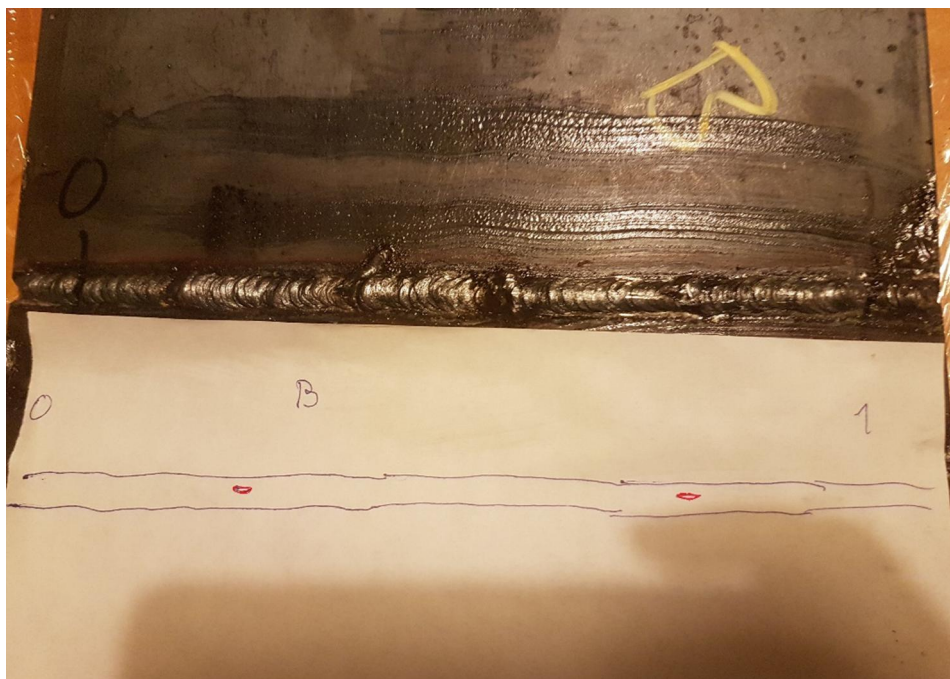
Kappaleiden röntgentarkastus suoritettiin laboratoriokuvauksena. Kuvauksessa käytettiin röntgenputkea, jonka maksimi putkijännite on 225 kV. Kuvauksen jälkeen filmit kehitettiin koneellisesti.

Kuvien luokittelussa otettiin kantaa vain virheiden tyyppiin ja sijaintiin. Kuvia ei luokiteltu minkään standardin mukaan, eikä niiden hyväksytyvyyteen otettu mitään kantaa.

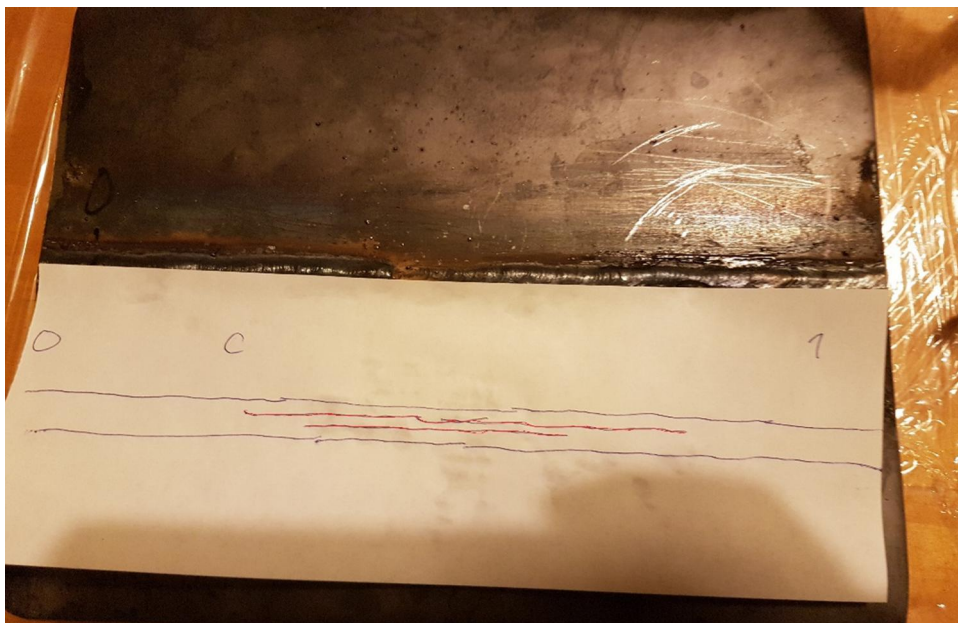
Koekappaleesta A löytyi seuraavia vikoja: huokonen, palkojen välinen liitosvirhe. Koekappaleesta B löytyi seuraavia vikoja: pitkänomainen huokonen, imuontelo. Koekappaleesta C löytyi liitosvirhe juuressa. Virheiden sijainti selviää seuraavista kuvista, joissa röntgenfilmi on jäljennetty paperille ja virheet korostettu punaisella.



KUVA 10. Kappale A virheet



KUVA 11. Kappale B virheet

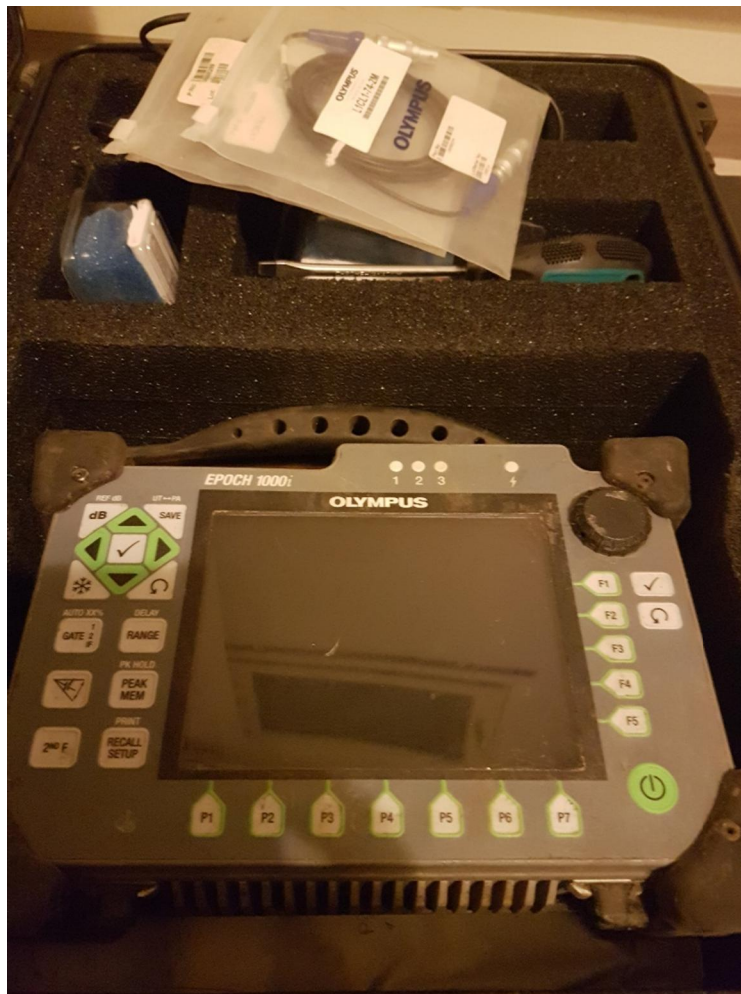


KUVA 12. Kappale C virheet

#### 4.3 Koekappaleiden vaiheistettu ultraäänitarkastus

Ultraäänitarkastuksessa käytössä oli seuraavat laitteet: Olympus Epoch 1000i ultraääni-laitte (kuva 13.), Olympus 5L16A10 16 elementtinen vaiheistettu ultraääniluotain (kuva 14.), Olympus SA10-N55 S luotain kiila (kuva 14.). Kytkeäineena käytettiin liisteriä. Luotai-men kalibrointi tehtiin V1 kalibrointi kappaleeseen.





KUVA 13. Olympus Epoch 1000i ultraäänilaite



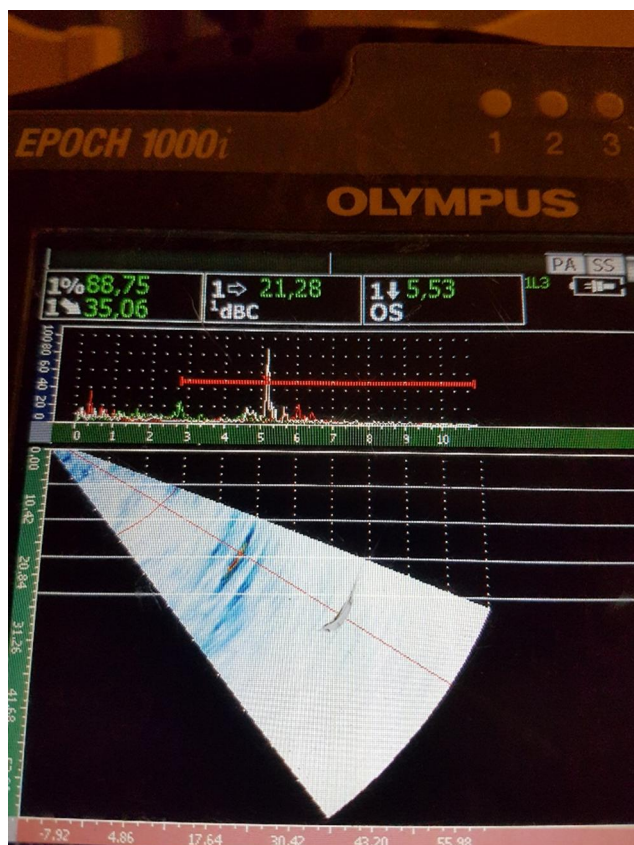
Kuva 14. Olympus 5L16A10 ultraääniluotain ja Olympus SA10-N55 S kiila

Laitteeseen syötettiin seuraavat arvot: luotaimen ja kiilan tyyppi, tarkastettavan kappaleen ainepaksuus, poikittaisaallon äänennopeus, halutut luotainkulmat, sekä käytettävien elementtien määrä. Lisäksi asetettiin luotaimen fokusointisyvyys. Kun laitteisto on kalibroitu oikein ja sinne on asetettu tarkastettavaa kappaletta vastaavat arvot, niin laite laskee suoraan kaikujen sijainnit.

Tarkastaminen alkoi levyjen puhdistamisella roiskeista. Roiskeet estävät luotaimen vapaan liikuttelun. Tämän jälkeen levitettiin liisteri ja suoritettiin luotaus.

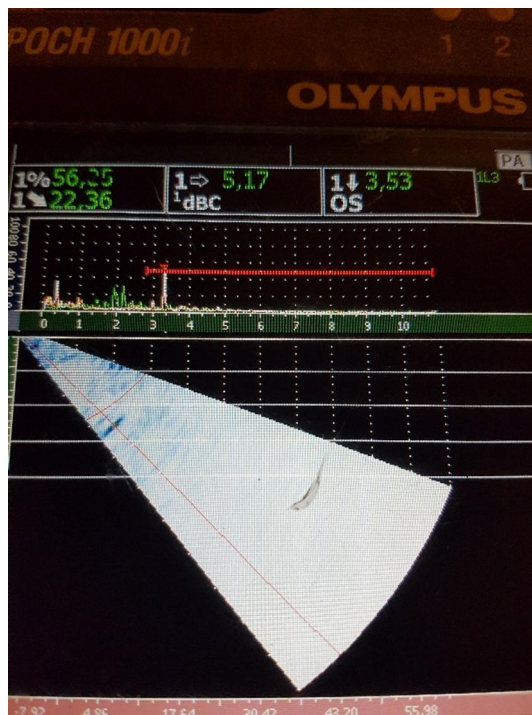
## 5 TULOKSET

Kappaleista löytyi samat virheet kuin röntgentarkastuksessa. Lineaariset virheet, tässä tapauksessa liitosvirheet löytyivät selkeästi (kuva 13). Muut virheet kuten huokokset ja imuontelot löytyivät nekin, mutta ne näkyivät epäselvempinä (kuva 14).



KUVA 15. Liitosvirhe levyssä C

Kuvassa kaiku S- näytössä on selkeä ja A-näytön kaiku on korkea. Kuvasta nähdään äänen kulkemamatka, 35,06mm, virheen sijainti katsottuna luotaimen indeksipisteestä, eli kohdasta jossa ääni lähtee luotaimesta, 21,28mm, sekä virheen syvyys 5,53mm. Näitä arvoja ja mittaa hyväksi käyttäen virhe on helppo paikantaa. Vika löytyi 60asteen kulmalla. Laitteen antamat tiedot voidaan myös tarkastaa piirtämällä ja laskemalla seuraavasti. Ääni kimpoaa kappaleessa kahdesti pinnoista ennen osumista vikaan. Kun tiedetään kappaleen paksuus, sekä äänen kulma, voidaan laskea äänenkulkema matka kappaleen takaseinään. Matka  $X = 6\text{mm} / \cos 60^\circ = 12\text{mm}$ . Ääni kulkee tämän matkan kahdesti ja ennen osumista vikaan on matka  $Y = 5,53\text{mm} / \cos 60^\circ = 11,06\text{mm}$ . Kokonaismatka siis  $2X+Y=35,06\text{mm}$ . Piirtämällä tämän mittakaavassa paperille, osuu vika railopintaan, eli kyseessä on liitosvirhe.



KUVA 16. Imuontelo levyssä B

Kuten kuvasta 16 nähdään imuontelossa saadaan hieman huonompi kaiku kuin lineaarisesta liitosvirheestä (kuva 15.). Imuontelo näkyy  $45^\circ$  kulmalla.

## 5.1 Tuloksien vertailu

Tuloksia vertaillessa täytyy ottaa huomioon, että röntgenkuvaus suoritettiin ennen ultraääni luotausta, joten tekijä oli tietoinen mitä etsiä. Lisäksi virheitä ei verrattu vertailukäyrään, joten niiden hyväksymiseen ei voida ottaa kantaa. Lineaariset virheet, liitosvirheet tässä tapauksessa, näkyivät selvästi ja ne paikantuivat oikeaan paikkaan. Huokoset ja imuotelot näkyivät hieman heikommin, mutta toisin kuin röntgentarkastuksessa, nyt ne pystyttiin paikantamaan syvyysuunnassa tarkasti.

## 6 YHTEENVETO

Työn aiheena oli röntgentarkastuksen korvaaminen vaiheistetulla ultraäänitarkastuksella. Tavoitteena oli tutkia, voidaanko vaiheistetulla ultraäänitarkastuksella korvata luotettavasti röntgentarkastuksia. Työ keskittyi alle 8mm päittäisliitoksiin. Työn tekeminen alkoi jo maaliskuussa 2016 ja se jatkui aina tammikuuhun 2017. Projektiin liittyen kävin myös ultraäänitarkastajan koulutuksen. Työ kesti odotettua kauemmin, koska en kerennyt tekemään sitä työn lomassa.

Työ onnistui odotuksiin nähden hyvin. Vaiheistetulla laitteistolla saadut tulokset olivat selkeitä ja yksiselitteisiä. On kuitenkin muistettava, että kyseessä oli vain pieni otanta. Jotta tulos olisi luotettava, niin tutkimusta tulisi jatkaa käyttäen suurempaa määrää koekappaleita. Lisäksi TOFD-tekniikan käyttöä pitäisi tutkia.

Yrityksessä tulokset otettiin vastaan tyytyväisinä. Pelkästään näillä tiedoilla voidaan harkita epävirallisten tarkastusten tekemistä ennen röntgenkuvausta. Näin voidaan välttyä korjauksien röntgenkuvaukselta, sekä ylimääräisiltä lämpökäsittelyiltä.

Työllistyn Nordic Power Service Inspection Oy:lle ja odotan innolla, että pääsen työskentelemään vaiheistetun ultraäänen parissa.



## LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

Anderson, M. Nov, 2010 Phased Array Testing: Basic Theory for Industrial Applications, Olympus NDT, 48 Woerd Avenue, Waltham, MA 02453, USA

Berke M. 2000. Nondestructive materialtesting with ultrasonics: Indtroduction to the basic principles.  
<http://www.ndt.net/article/v05n09/berke/berke1.htm>

Martikainen J. 2009 Hitsauksen laadunvarmistus, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Konetekniikan osasto, Hitsaustekniikan ja lasertyöstön laboratorio

SFS-EN 1435 Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Radiografinen kuvaus.

SFS-EN 1714 Hitsien rikkomaton aineenkoetus. Hitsausliitosten ultraäänitarkastus.

SFS-EN 12668-3 Rikkomaton aineenkoetus. Ultraäänilaitteiden ominaisuuksien todentaminen. Osa 3: Ultraäänilaitteisto